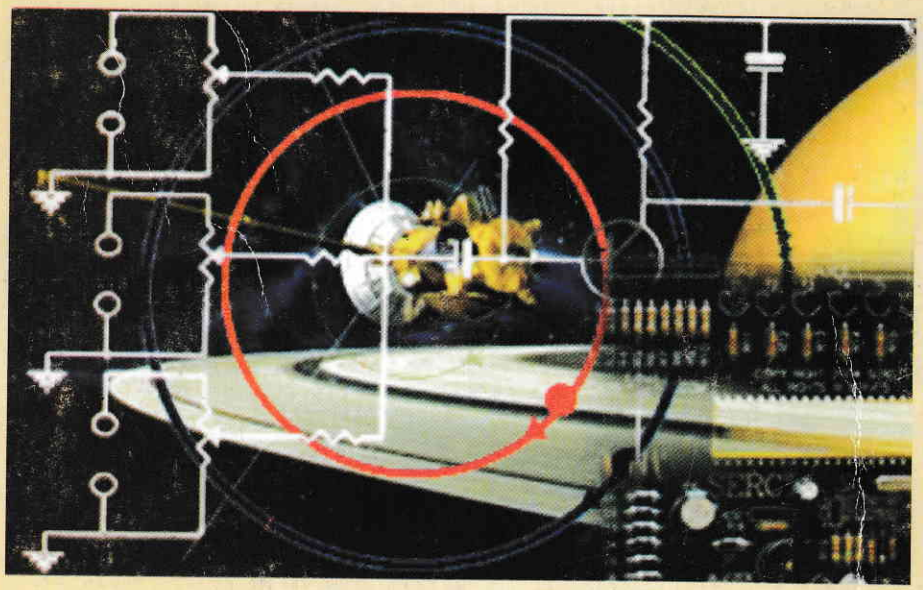
دانشگاه پیام نور

آزمایشگاه مدارهای الکترونیکی

سید محمود نجفیان رضوی دکتر احمد فراهی



۱۱۸۰

دانشگاه پیام نور

آزمایشگاه مدارهای الکترونیکی

(رشتهٔ کامپیوتر)

سید محمود نجفیان رضوی دکتر احمد فراهی

گروه کامپیوتر
(۱۹/ م)

دانشگاه پیام‌نور
۱۳۰۹

سرشناسه	: نجفیان رضوی ، محمود، ۱۳۳۱.
عنوان و پدیدآور	: آزمایشگاه مدارهای الکترونیکی (رشتهٔ مهندسی کامپیوتر)/ تألیف محمود نجفیان رضوی، احمد فراهی.
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه پیام‌نور، ۱۳۸۵.
مشخصات ظاهری	: یازده، ۱۳۸ص.: مصور، جدول، نمودار.
فروست	: دانشگاه پیام‌نور؛ ۱۳۰۹؛ گروه مهندسی کامپیوتر ۱۹/م.
شابک	: 978-964-387-317-2
یادداشت	: فیپا
موضوع	: آموزش از راه دور – ایران.
موضوع	: مدارهای الکترونیکی- آزمایش‌ها – آموزش برنامه‌ای.
موضوع	: مدارهای الکترونیکی- دستنامه‌های آزمایشگاهی.
شناسه افزوده	: فراهی، احمد.
شناسه افزوده	: دانشگاه پیام‌نور.
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۸۵ ۲۶ن/۹ الف/۵۸۰۸ LC
رده‌بندی دیویی	: ۳۷۸/ ۱۷۵۰۹۵۵
شمارهٔ کتابخانهٔ ملی	: ٤٥٤٩١ – ٨٥م

دانشگاه پیام‌نور

آزمایشگاه مدارهای الکترونیکی

سیدمحمود نجفیان رضوی دکتر احمد فراهی

ویراستار علمی: دکتر داود کریم‌زادگان

حروفچینی و نمونه‌خوانی: مدیریت تولید مواد و تجهیزات آموزشی

طراح جلد: زهرا شریفی

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: انتشارات دانشگاه پیام‌نور

شمارگان: ۳۰۰۰ نسخه

نوبت و تاریخ چاپ: چاپ اول اردیبهشت ۱۳۸٦

شابک ۲ – ۳۱۷ – ۳۸۷ – ۹٦٤ – ۹۷۸

ISBN 978 - 964 - 387 - 317 - 2

کلیه حقوق برای دانشگاه پیام‌نور محفوظ است.

[redacted]

بسم‌الله الرحمن الرحیم

پیشگفتار ناشر

کتابهای دانشگاه پیام‌نور حسب مورد و با توجه به شرایط مختلف به صورت درسنامه، آزمایشی، قطعی، متون آزمایشگاهی، فرادرسی، و کمک درسی چاپ می‌شود. کتاب **درسنامه** (د) نخستین ثمرهٔ کوششهای علمی صاحب اثر است که براساس نیازهای درسی دانشجویان و سرفصلهای مصوب تهیه می‌شود و پس از داوری علمی در گروههای آموزشی چاپ می‌شود. با تجدیدنظر صاحب اثر و دریافت بازخوردها و اصلاح کتاب، درسنامه به صورت **آزمایشی** (آ) چاپ می‌شود. با دریافت نظرهای اصلاحی و متناسب با پیشرفت علوم و فناوری، صاحب اثر در کتاب تجدیدنظر می‌کند و کتاب به صورت **قطعی** (ق) چاپ می‌شود. در صورت ضرورت، در کتابهای چاپ قطعی نیز می‌تواند تجدیدنظرهای اساسی به عمل آید.

متون آزمایشگاهی (م) متونی است که دانشجویان با استفاده از آن و راهنمایی مربیان کارهای عملی آزمایشگاهی را انجام می‌دهند. کتابهای **فرادرسی** (ف) و **کمک‌درسی** (ک) به منظور غنی‌تر کردن منابع درسی دانشگاهی تهیه می‌شوند. کتابهای فرادرسی با تأیید معاونت پژوهشی و کتابهای کمک‌درسی با تأیید شورای انتشارات تهیه می‌شوند.

مدیریت تولید مواد و تجهیزات آموزشی

فهرست

مقدمه ..... **هفت**

راهنمای انجام آزمایشهای مدارهای الکترونیکی ..... **نه**

بخش اول : نیمه هادیها و دیودها **۱**

آزمایش ۱ : دیود ۵

آزمایش ۲ : یکسو سازها ۱۶

آزمایش ۳ : برشگرها ۳۱

آزمایش ٤ : چندبرابر کنندهٔ ولتاژ ٤۱

آزمایش ۵ : تنظیم کنندهٔ ولتاژ ٤۷

بخش دوم : ترانزیستورها **۵۷**

آزمایش ٦ : مشخصهٔ ترانزیستور در مدار امیتر مشترک ٦۷

آزمایش ۷ : تغذیهٔ DC ۷٦

بخش سوم : تقویت کننده‌ها **۸۷**

آزمایش ۸ : بررسی مدارهای تقویت‌کنندهٔ (C.E) ۹۷

آزمایش ۹ : بررسی مدارهای تقویت‌کنندهٔ (C.B) ۱۰۰

آزمایش ۱۰ : بررسی مدارهای تقویت‌کنندهٔ (C.C) ۱۰۳

ضمیمه :

ضمیمهٔ ۱:جدول کدرنگی مقاومتها ۱۰۷

ضمیمهٔ ۲:آشنایی با چند دستگاه الکترونیکی مورد استفاده در آزمایشگاه ۱۰۹

فهرست منابع و مأخذ ۱۳۹

مقدمه

امروزه در اکثر زمینه‌های پزشکی، صنعتی، کامپیوترها، ربوتها، ماهواره‌ها و ساخت تجهیزات مختلف مورد استفاده در علوم و تکنولوژی، نمی‌توان نقش ارزندهٔ علم الکترونیک را نادیده گرفت، هرچند که بیش از چند دهه از پیدایش و تکوین این علم نمی‌گذرد.

کتاب حاضر با عنوان آزمایشگاه مدارهای الکترونیکی برای استفادهٔ دانشجویان رشته‌های مهندسی کامپیوتر و علوم کامپیوتر به عنوان درس عملی یک واحدی با توجه به سرفصلهای درسی با همین عنوان تألیف شده است. پیش از این در درس آزمایشگاه مدار الکتریکی ۱، دانشجویان با برخی از اجزاء و المانهای مدارهای الکترونیکی مثل مقاومت، خازن و سلف آشنا شده‌اند، در عین حال در پایان این کتاب جدول کُد رنگی مقاومتها برای استفاده آمده است. همچنین دانشجویان در درسهای آزمایشگاهی گذشته با برخی از دستگاهها مثل اسیلوسکوپ، سیگنال ژنراتور، مولدهای AC و DC، مالتی‌متردیجیتالی، آوومتر، ولت‌متر، آمپرمتر و گالوانومتر کار کرده‌اند.

هدف این کتاب بیشتر به کار بردن المانها و اجزاء الکترونیکی در مدارهای عملی است که در درس تئوری، مدارهای الکترونیکی ۱، با آنها آشنا شده‌اند. البته هر جا که لازم باشد، جهت تسریع کار، توضیح کافی دربارهٔ تئوری و چگونگی انجام آزمایش داده شده است. در انتهای هر آزمایش نیز ضمن مطرح کردن پرسشها و طرح برخی مدارهای ساده، به یادگیری بیشتر کمک شده است.

در مجموع این کتاب سه بخش اصلی **دیود**، **ترانزیستور** و **تقویت‌کننده‌ها** را شامل

می‌شود که در ابتدای هر بخش پس از توضیح کافی آزمایشهایی مرتبط با آن بخش ارائه شده‌اند. مدارهای در نظر گرفته شده در آزمایشها منحصر به فرد نبوده و در هر آزمایشگاه مدار الکترونیکی می‌توان با توجه به دامنهٔ وسیع کاربردهای اجزاء و المانهای الکترونیکی مدارهای مختلفی را طرح کرده و مورد استفاده قرار داد.

زمان برای هر آزمایش سه ساعت و یک جلسهٔ سه ساعتی نیز برای آزمون در نظر گرفته شده است، آزمون نهایی می‌تواند، تئوری و عملی باشد و شاید الگوی زیر در تخصیص نمره برای این درس مناسب باشد.

۱)	پرسش کتبی کوتاه، ابتدای هر جلسه،	۲ نمره
۲)	نحوهٔ انجام کار،	۳ نمره
۳)	گزارش کار،	۵ نمره
٤)	آزمون تئوری پایان ترم	٤ نمره
۵)	آزمون عملی پایان ترم	۵ نمره
٦)	نظم و ترتیب و حضور به موقع	۱ نمره

اگرچه در انجام آزمایشها از ولتاژهای کم و بی‌خطر استفاده می‌شود ولی برای ایمنی بیشتر وصل اتصال زمین دستگاههایی که با برق شهر کار می‌کنند، ضروری است و پس از اطمینان از صحیح بسته‌شدن مدارها زیر نظر مسئول آزمایشگاه، از ولتاژ مناسب استفاده شود.

توجه:

به علت ارتباط بین بخشها و مدارهای مختلف در هر آزمایش پیشنهاد می‌شود تمام مدارهای ارائه‌شده مورد بررسی قرار گیرند و در صورت کمبود وقت، تنها آزمایشهای ۹ و ۱۰ حذف شوند.

راهنمای انجام آزمایشهای مدارهای الکترونیکی

برای بهره‌وری بیشتر از کار در آزمایشگاه و استفادهٔ مناسب از زمان، مطالعهٔ نکته‌ها و مطالب زیر تأکید می‌شود. با توجه به این که دانشجو بایستی در هر جلسهٔ آزمایش با قوانین و روابط نظری مربوط به آزمایش آن جلسه آشنایی کافی داشته باشد، لازم است پیش از ورود به آزمایشگاه حتی اگر نتواند مطالعهٔ کاملی در زمینه‌های نظری آن جلسه انجام دهد، حداقل یکبار تئوری آزمایش مربوطه را به دقت مطالعه کند. بدیهی است در بدو ورود به جلسه یک یا دو پرسش کوتاه از متن آزمایش به صورت کتبی مطرح می‌شود تا سرپرست آزمایشگاه از اطلاعات مقدماتی مورد آزمایش آن روز اطمینان پیدا کند و مجموع نمرات این پرسشهای کتبی، بخش کوچکی از نمرهٔ پایان ترم (حداقل دو نمره) را تشکیل می‌دهد، معمولاً دانشجویانی که رأس ساعت در جلسه حضور نیابند علاوه بر محروم شدن از این نمره، امتیازی منفی نیز خواهند گرفت.

پس از انجام آزمون ابتدایی که حدود ده دقیقه طول می‌کشد، مسئول هر گروه از دانشجویان (دو تا سه نفر) با تکمیل فهرست وسایل مورد نیاز آزمایش آن روز و امضای آن، وسایل را تحویل می‌گیرد و آنها را به کمک سایر اعضای گروه روی میز قرار می‌دهد. واضح است که در پایان آزمایش نیز وسایل را با همان نظم و ترتیب اولیه تحویل داده و یا در جای خود قرار می‌دهند و در صورتی که در حین آزمایش به وسیله‌ای آسیب وارد شود، مسئولیت آن متوجه همهٔ اعضای گروه آزمایش‌کننده خواهد

بود. باید توجه داشت که بخشی از نمرهٔ حضور و نحوهٔ کار به نظم و ترتیب در کار و روش استفادهٔ صحیح از وسایل مربوط می‌شود.

در ابتدای جلسه، هر دانشجو موظف است گزارش کار انجام آزمایش قبلی خود را که به طور انفرادی نوشته است، روی میز سرپرست آزمایشگاه قرار دهد، سپس سرپرست آزمایشگاه پس از برگزاری پرسش کتبی، حدود ده تا پانزده دقیقه درمورد انجام آزمایش آن روز یا در صورتی که لازم باشد درمورد تئوری و نحوهٔ انجام آن و یا تغییرات احتمالی در وسایل و اجزاء لازم، به طور مختصر توضیح می‌دهد. واضح است که دانشجویان دستور کار آزمایش را قبلاً مطالعه کرده و ضمن انجام آزمایش نیز آن را در دسترس دارند. آنگاه دانشجویان در حدود ۲/۵ ساعت به انجام آزمایش می‌پردازند.

سرپرست آزمایشگاه پرسشهای کتبی را تصحیح می‌کند و سپس با توجه به نظارتی که از جلسهٔ قبل داشته و با داشتن نتایج کار دانشجویان از جلسهٔ قبل به بررسی اجمالی گزارش کارهای آنها می‌پردازد، در صورت عدم وجود اشکال عمده با ذکر تاریخ آنها را پاراف می‌کند، در غیراینصورت، نقص یا اشکال گزارش کارها را در ذیل آنها می‌نویسد که دانشجو ملزم به تکمیل گزارش کار و یا در صورت لزوم تصحیح و یا حتی تکرار آزمایش است. نمره‌ای که به گزارش کارها تخصیص داده می‌شود، نسبی است. سرپرست آزمایشگاه معمولاً گزارش کارهای هر گروه را با یکدیگر و سپس با گزارش کارهای سایر گروهها مقایسه کرده و به آنها نمره خواهد داد.

دانشجو برای نوشتن یک گزارش کار خوب بایستی هنگام آزمایش:

الف) موارد ذیل را در نظر داشته باشد:

- با اجزاء و وسایل مورد استفاده در آن آزمایش و حوزهٔ عمل آنها آشنایی کافی داشته باشد.
- از روش و نحوهٔ به کار بردن آنها در مدارهای مختلف با اطلاع باشد.
- بتواند شکل مدارها را روی تخته آزمایش (بردبورد) به طور عملی پیاده کند.
- کمیتهای مجهول را برای تکمیل جدولها به دست آورده و کمیتها و یکاهای آنها بشناسد.

- اشکالاتی که ممکن است در حین آزمایش با آنها مواجه شود با همکاری اعضای گروه و یا سرپرست آزمایشگاه رفع کند.
- نتایج اندازه‌گیریها و مشاهدات خود را جداگانه ثبت کند.

ب) گزارش کار خود را به ترتیبی بنویسد که موارد ذیل را شامل شود:

- نام و نام خانوادگی دانشجو و اعضای گروه – رشته، تاریخ انجام آزمایش، شماره و عنوان آزمایش – نام مرکز و نام سرپرست آزمایشگاه
- هدف یا اهداف آزمایش
- مختصری از تئوری آزمایش و روابط و فرمولهای مورد استفاده
- رسم شکل یا مدارهای آزمایش
- روش انجام آزمایش یا آزمایشها و چگونگی استفاده از اجزاء و وسایل
- رسم نمودارها و نتایجی که از آنها گرفته می‌شود.
- کامل کردن جدولهای هر آزمایش
- انجام محاسبات احتمالی
- نتایج هر قسمت و نتایج کلی و ذکر خطاهای احتمالی
- پاسخ به پرسشها در هر آزمایش

البته در هر گزارش کار ممکن است فقط برخی از موارد فوق آورده شود. همچنین استفاده از کاغذ A4 با حاشیهٔ مناسب تمیز و یک‌دست نوشتن گزارش کار، معرف دقت نظر و اهمیتی است که دانشجو به کار خود می‌دهد.

بخش اول

نیمه‌هادیها و دیودها

استفاده از نیمه‌هادیها در الکترونیک به زمانی مربوط می‌شود که اولین بار آشکارسازهای رادیویی ساخته شدند. با توجه به این که نیمه‌هادیها جریان را از یک‌طرف آسانتر عبور می‌دهند، و این برای آشکارسازی جریانهای بسامد رادیویی لازم بود.

وسایل نیمه‌هادی، دیودها و ترانزیستورها، در بسیاری از کاربردها لامپهای الکترونیکی مرسوم را کنار زدند و اکنون به طور تجاری در انواع مختلف و به مقدار زیاد در دسترس هستند.

وسایل نیمه‌هادی مزایای زیر را دارند:

- وزن کم و اندازهٔ کوچک
- عدم نیاز به ولتاژی برای تغذیهٔ فیلامان، در مقایسه با لامپهای الکترونیکی
- عمر طولانی
- نداشتن عیب مکانیکی
- اتلاف توان کم
- ولتاژهای تغذیهٔ کم

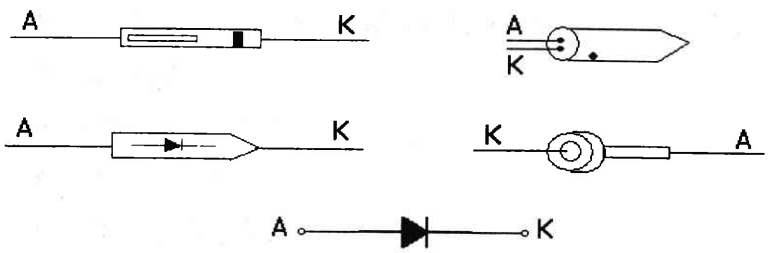
در عین حال نیمه‌هادیها معایبی نیز دارند:

- وجود اختلاف در پارامترهای وسایل نیمه‌هادی از یک نوع
- وابستگی به دما
- خرابی در طول زمان هنگام کار
- سطح نویز بالا نسبت به لامپهای الکترونیکی

- نامناسب بودن اکثر ترانزیستورها در استفاده برای بسامدهای بسیار بالا
- مقاومتهای ورودی کم
- غیرقابل استفاده بودن هنگام استفاده در توانهای بالا
- خرابی هنگام کار، در صورتی که در معرض تابش پرتوزا قرار گیرند.

با وجود این، با تحقیقات و پیشرفتهای انجام شده تاکنون بسیاری از محدودیتها و عیبهای وسایل نیمه‌هادی کاهش یافته است. اکنون یکسوسازی با استفاده از نیمه‌هادیها برای جریانهایی تا هزارها آمپر وجود دارد. همچنین ترانزیستورهایی ساخته‌اند که در بسامدهایی تا حدود صدها مگاهرتز و بیشتر نیز می‌توانند کار کنند.

دیودها اغلب از جنس سیلیسیم یا ژرمانیوم هستند که جریان را از یک جهت عبور می‌دهند و در جهت دیگر عبور نمی‌دهند. در گرایش (بایاس یا تغذیه) مستقیم که دیود جریان را عبور می‌دهد مقاومتش ناچیز است و در گرایش معکوس که دیود جریان را عبور نمی‌دهد، مقاومتش بسیار زیاد است. دیود از نظر لغوی از کلمهٔ دی‌الکترود به معنای دوسر گرفته شده است که یک سر آن آند و سر دیگر آن که کاتد نامیده می‌شود، معمولاً با نوار یا خطی مشخص شده است. در گرایش مستقیم، جریان از آند وارد و از کاتد خارج می‌شود، (شکل ۱).



شکل ۱. نمایش دیود و علامت مداری آن

نامگذاری و شناسایی دیودها

الف) روش آمریکایی؛ در این روش نام دیود با 1N شروع می‌شود و سپس رشته‌ای از اعداد می‌آید, مانند: 1N4001 ، 1N4002 ، ..... 1N4005 .

ب) روش ژاپنی؛ در این روش نام دیود با 1S شروع می‌شود و سپس اعدادی نوشته می‌شود؛ مانند 1S86

ج) روش اروپایی؛ در این روش حرف اول بیان‌کنندهٔ جنس نیمه‌هادی است، A برای ژرمانیوم و B برای سیلیکون و C گالیوم ارسنیک و R مخلوط، و حرف دوم مورد استفادهٔ دیود را نشان می‌دهد، A برای آشکارسازی - دیود سیگنال، B دیود خازنی و یا وریکاپ، O دیود نوری، Z دیود زنر، E دیود تونل، Yدیود یکسوساز و شمارهٔ بعد از حرف دوم شمارهٔ سریال کارخانه است. برای مثال؛ AA119 یک دیود ژرمانیوم آشکارساز و BY127 یک دیود سیلیسیومی یکسوساز است.

انواع دیود

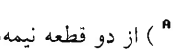
دیودها با توجه به نوع استفاده و محدودیتها و امکاناتی که دارند در موارد مختلفی به کار می‌روند و انواع آنها عبارتند از: دیود یکسوساز، دیود زنر؛ دیود نوری (LED)[1]، دیود آشکارساز، دیود تونل، فوتو دیود[2]، دیود خازنی یا وریکاپ، دیودیکسوساز با ولتاژ بالا و...

کاربردهای دیودها در مدارها

با توجه به انواع دیودها می‌توان کاربردهای زیادی را برای مدارهای دیودی انتظار داشت، ولی چند کاربرد با اهمیت دیود در مدارها، استفاده از آنها به عنوان یکسوساز،

---

۱ دیود نوری یا LED با علامت مداری ( )از یک نیمه‌هادی ناخالص نوع گالیوم آرسنید فسفید (GaAsP) است که نور قرمز یا زرد یا سبز یا نارنجی پخش می‌کند و در ظاهر پایهٔ آند آن بزرگتر از پایهٔ کاتد آن است.

۲ فوتو دیود با علامت مداری () از دو قطعه نیمه‌هادی n و P در بدنهٔ پلاستیکی بیرنگ ساخته شده که مقدار جریانی که از خود عبور می‌دهد بستگی به نوری دارد که به آن می‌رسد و از نظر شکل ظاهر معمولاً در کنار کاتد آن زائده‌ای وجود دارد

آشکارساز، برش‌دهنده و محدودکننده است.

در چه صورت دیود خراب می‌شود؟

عبور جریان زیاد از دیود یا اعمال ولتاژ معکوس بیش از حد شکست، در حالتهای زیر باعث خرابی دیود می‌شود:

الف) دیود اتصال کوتاه شود؛ در این صورت دیود در هر دو جهت هدایت کرده و مثل یک سیم رفتار می‌کند و اهم‌متر در هر دو نوع گرایش مستقیم و معکوس، مقاومت دیود را صفر نشان می‌دهد.

ب) نشست دیود؛ در این صورت جریان معکوس نیز به راحتی برای هر ولتاژی برقرار می‌شود و اهم‌متر مقاومت را در هر دو نوع اتصال یکسان نشان می‌دهد.

ج) انفصال داخلی دیود؛ در این صورت ارتباط آند و کاتد دیود از درون قطع می‌شود و اهم‌متر در هر دو نوع گرایش، مقاومت را بینهایت نشان می‌دهد.

آزمایش ۱

دیود

هدف

تست دیود، جنس دیود، تشخیص قطبهای دیود، رسم منحنی مشخصهٔ دیود در دو گرایش مستقیم و معکوس، اثر گرما بر منحنی مشخصهٔ دیود و تعیین ولتاژ شکست دیود زنر

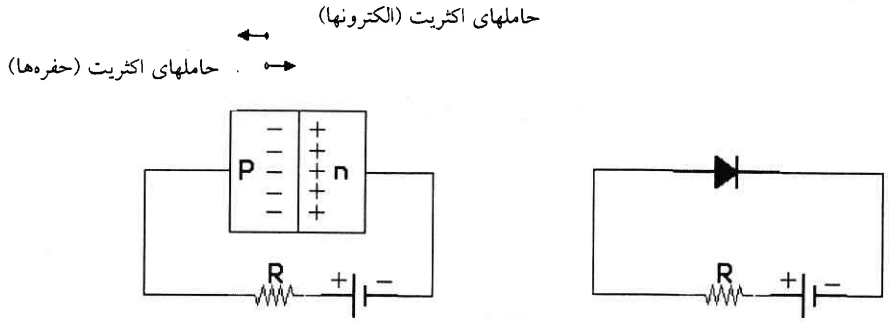
وسایل آزمایش

اسیلوسکوپ، بردبورد، مولتی‌متر دیجیتالی، منبع تغذیهٔ مستقیم (DC)، منبع تغذیهٔ متناوب (AC)، مقاومتهای ۲۲۰Ω، ۴۷۰Ω، ۱kΩ، ۱۰۰kΩ، دیودهای ۱N۴۰۰۲، ۱N۴۰۰۱، LED، دیود زنر ۶/۲ V، هویه

تئوری آزمایش

هر دیود از مجاور قرار گرفتن دو نیمه هادی n و P ایجاد می‌شود، دیود در گرایش مستقیم جریان را عبور می‌دهد، در این حالت تعدادی از الکترونها به ناحیهٔ P رفته با حفره‌ها ترکیب می‌شوند و تعدادی از حفره‌ها به ناحیهٔ n می‌روند و با الکترونها ترکیب می‌شوند. چون در اینجا ولتاژ باتری در جهت عکس پتانسیل سد پیوند است، با افزایش ولتاژ باتری جریان زیادی ایجاد می‌شود، زیرا حاملهای اکثریت می‌توانند با گذشتن از پیوند در دوجهت عبور کنند. در این صورت پیوند Pn به طور مستقیم تغذیه یا به

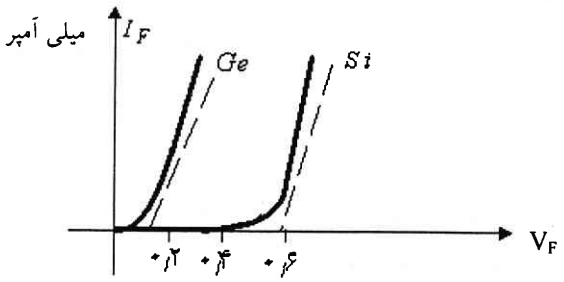
اصطلاح بایاس شده است (شکل ۱ – ۱).



شکل ۱ – ۱. پیوند Pn در گرایش مستقیم

مقاومت پیوند Pn در گرایش مستقیم بسیار کم است و اگر در این حالت ولتاژ از حد معینی که برای هر دیود مشخص است بیشتر شود، دیود گرم شده و می‌سوزد.

نمودار تغییرات جریان عبوری برحسب ولتاژ دوسر دیود، منحنی مشخصهٔ دیودها نامیده می‌شود، در شکل ۱ – ۲، این مشخصه برای دو دیود سیلیسیم و ژرمانیوم در دمای معمولی و در گرایش مستقیم رسم شده است، دیده می‌شود که در ابتدا جریان مستقیم (I_F) کم است تا این که ولتاژ مستقیم (V_F) از حدود ۰/٦ ولت برای سیلیسیم و حدود ۰/۱ ولت برای ژرمانیوم بیشتر شود[1]، از آن پس یک تغییر کوچک در (V_F) افزایش زیادی را در I_F در پی خواهد داشت.

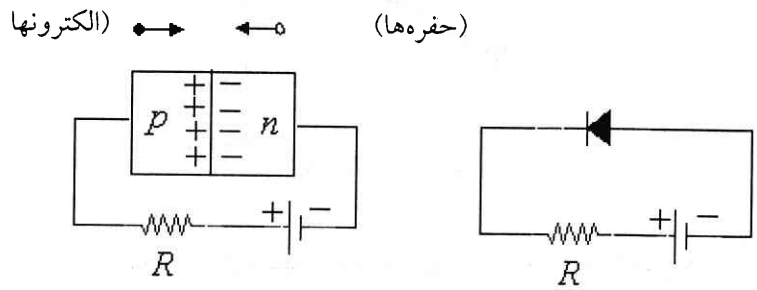


شکل ۱ – ۲. مشخصهٔ دیودهای سیلیسیم و ژرمانیوم در گرایش مستقیم

---

۱. این جریان دیود در ولتاژ کمتر از ۰/٦ ولت برای سیلیسیم و ۰/۱ولت برای ژرمانیوم مقدار کمی دارد و پس از آن به سرعت افزایش می‌یابد به این معنی است که عملکرد دیود، یک قطعهٔ غیرخطی، با عملکرد مقاومت به عنوان یک قطعهٔ خطی، که در آن جریان به طور مستقیم با ولتاژ متناسب است، متفاوت بوده و دلیل آن هم ایجاد پتانسیل سدّ در لایهٔ تهی است.

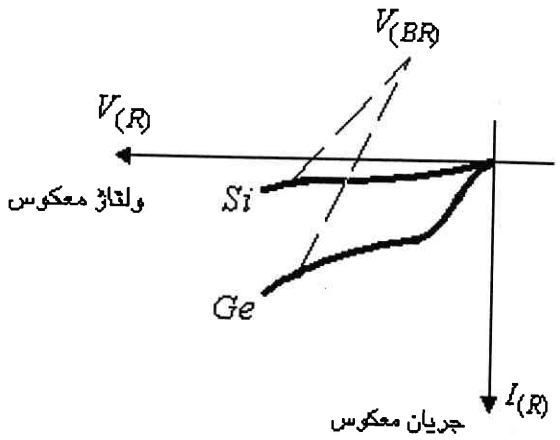
دیود در بایاس معکوس جریان را عبور نمی‌دهد، در این حالت ولتاژ باتری در جهت تقویت پتانسیل سدّ است و باعث می‌شود الکترونها و حفره‌ها از محل پیوند دور شده و لایهٔ تهی پهن‌تر شود، در عین حال تعداد کمی از حاملهای اقلیت، جریان ضعیفی به نام جریان نشتی یا معکوس ایجاد می‌کنند، جریان اشباع معکوس، در این گرایش مقاومت پیوند زیاد است، (شکل ۱ – ۳).



شکل ۱ – ۳. پیوند Pn در گرایش معکوس

در گرایش معکوس، جریان (I_R) کم و قابل اغماض است. این جریان با افزایش ولتاژ معکوس (V_R) افزایش نمی‌یابد. البته اگر (V_R) تا حد زیادی افزایش یابد، لایه تهی بین دو نیمه‌هادی می‌شکند و (I_R) ناگهان و به سرعت زیاد می‌شود و این به معنی معیوب شدن دیود است. به ولتاژ معکوسی که باعث شکستن لایهٔ دیود و خراب شدن آن می‌شود، ولتاژ شکست می‌گویند. ولتاژ شکست به ساختمان دیود و به میزان ناخالصی آن بستگی دارد و مقدارش ازچند ولت تا ۱۰۰۰ ولت هنگام استفاده، متوسط جریان مستقیم، $I_{F(av)}$ و ماکزیمم ولتاژ معکوس V_{RRM} است. برای مثال، دیود (۱N٤۰۰۱) دارای متوسط جریان مستقیم ۱ آمپر و ماکزیمم ولتاژ معکوس ۵۰ ولت است.

در شکل ۱ – ٤، مشخصهٔ دیودهای سیلیسیم و ژرمانیوم در گرایش معکوس و در دمای معمولی رسم شده‌اند.



شکل ۱ – ٤. مشخصهٔ دیودهای سیلیسیم و ژرمانیوم در گرایش معکوس

علت این که از نیمه‌هادی سیلیسیم به جای ژرمانیوم بیشتر برای ساخت، دیود استفاده می‌شود این است که سیلیسیم نسبت به ژرمانیوم دارای جریان معکوس کمتری است که این ویژگی برای یکسوسازی بسیار بااهمیت است، به‌علاوه سیلیسیم دارای ولتاژ شکست بالاتری است و می‌تواند در دمای بالاتر کار کند[۱].

اثر دما بر کار دیود

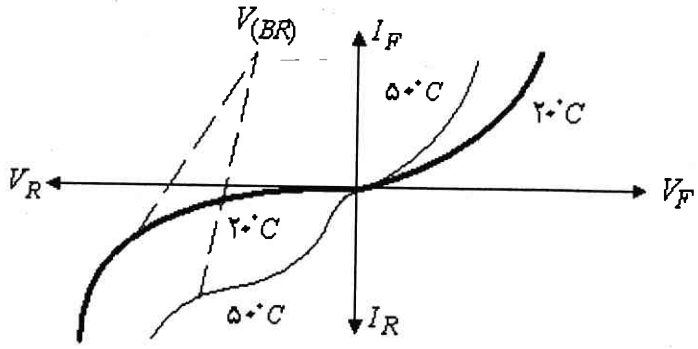
افزایش دما بر روی ویژگیهای نیمه‌هادیها اثر می‌گذارد زیرا با افزایش زوجهای حفره–الکترون، رسانایی آنها زیادتر می‌شود، نمودار مشخصهٔ دیود، هم افزایش جریان مستقیم و هم افزایش جریان معکوس را در اثر افزایش دما نشان می‌دهد. در شکل ۱ – ۵، اثر تغییر دما بر مشخصهٔ یک دیود ژرمانیوم رسم شده است، دیده می‌شود که جریان اشباع

---

۱. با جایگزین کردن سیلیسیم به جای ژرمانیوم توانسته‌اند دیودهای کریستالی و ترانزیستورهایی بسازند که دماهای تا حدود c ۵°۱۷را در محل پیوند تحمل می‌کنند، درصورتی که دیودهای ژرمانیوم معمولاً تا دماهای حدود c °۱۰۰ می‌توانند کار کنند.

معکوس نیز با افزایش دما بنا به رابطهٔ زیر به ازای هر ۱۰ درجه افزایش دما تقریباً دو برابر می‌شود.

$$I_{S(t)} = I_{S(۲۰^\circ C)} \times ۲^{\left(\frac{t-۲۰}{۱۰}\right)}$$

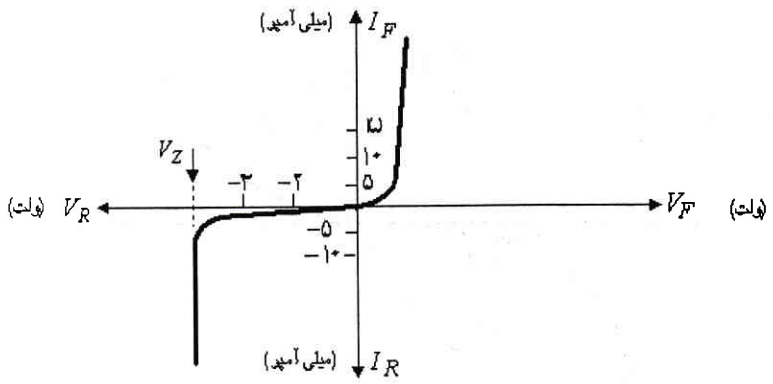


شکل ۱ – ۵. اثر تغییر دما بر مشخصهٔ دیود ژرمانیوم

افزایش جریان با دما در گرایش مستقیم آنقدر زیاد نیست زیرا جریان در اصل به علت وجود ناخالصی در رساناها ایجاد می‌شود و غلظت ناخالصی به دما بستگی ندارد. همچنین دیودهای سیلیسیومی جریان نشتی خیلی کمی دارند و به اندازهٔ دیودهای ژرمانیومی نسبت به دما حساس نیستند.

دیود زنر

از نظر کار نوع خاصی از دیود است که به عنوان تثبیت کنندهٔ ولتاژ از آن استفاده می‌شود. با توجه به منحنی مشخصهٔ دیود زنر، (شکل۱-٦)، اگر ولتاژ معکوس (V_R) افزایش یابد، جریان معکوس (I_R) ناچیز و قابل اغماض است، تا این که ولتاژ به حد ولتاژ شکست (V_Z) برسد، در این ولتاژ (I_R) ناگهان افزایش می‌یابد. (V_Z)ولتاژ زنر نامیده می‌شود، اگر (V_R) به کمتر از (V_Z) کاهش یابد، (I_R) دوباره قابل اغماض خواهد شد.



شکل ۱ - ٦. مشخصهٔ دیود زنر

با توجه به نمودار مشخصهٔ دیود زنر، دیده می‌شود که در محدودهٔ وسیعی از جریان معکوس، مقدار (V_Z) تقریباً ثابت می‌ماند که همین مشخصهٔ دیود زنر، استفادهٔ آن را در منابع تغذیه به عنوان تثبیت‌کنندهٔ ولتاژ، مفید و منحصر به فرد می‌سازد.

دیودهای زنر با ولتاژهای مختلفی ساخته می‌شوند که متداولترین آنها عبارتند از:

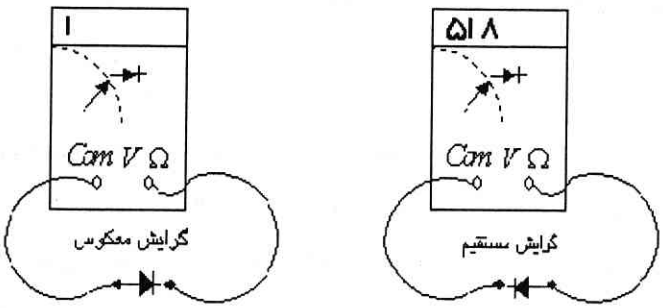
۱/۱V و ۲/۲ V و ۳ V و ۳/۲ V و ۳/۹ V و ٤/۲ V و ٤/۸ V و ۵/۱ V و ٦/۲ V و ۷/۵V و ۹/۱ V و ۱۰ V و ۱۲ V و ۱۵ V و ۲۲ V و ۳۳ V و تا ۲۰۰ ولت.

روش آزمایش

الف) تشخیص قطبهای دیود با استفاده از مولتی‌متر دیجیتالی

چون فیش مربوط به سنجش مقاومت (Ω) بر روی مولتی‌متر دیجیتالی نشان دهندهٔ قطب مثبت و فیش مربوط به (C_{om}) نشان‌دهندهٔ قطب منفی است، مطابق شکل ۱-۷، هنگامی که در گرایش مستقیم قطب منفی به کاتد دیود متصل است از مدار جریان می‌گذرد و دستگاه مقاومتی را نشان می‌دهد و در گرایش معکوس که قطب مثبت به کاتد دیود

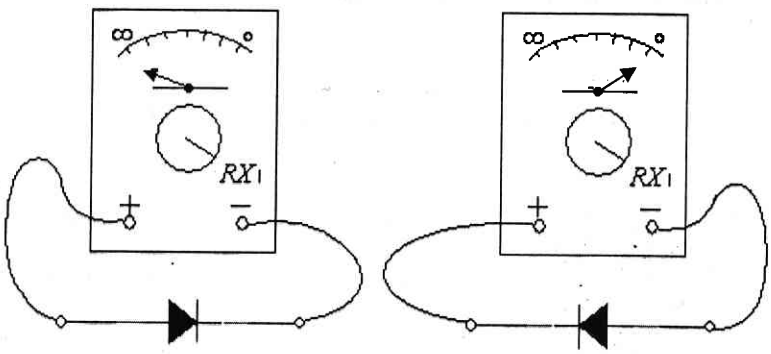
متصل است، مقاومت بینهایت است و مالتی‌متر دیجیتالی عدد ۱ را نشان می‌دهد و جریان تقریباً صفر است. به این ترتیب می‌توانید قطبهای دو دیودی را که در اختیار دارید مشخص کنید.



شکل ۱ – ۷. تشخیص قطبهای دیود با استفاده از مولتی‌متر دیجیتالی

ب) بررسی سالم بودن دیودها

برای این منظور اهم‌متر را روی RX1 قرار دهید و مطابق شکل۱–۸، در دو حالت آن را به دو سر دیود متصل کنید، در حالت (الف) مقاومت دیود کم و در حالت (ب) مقاومت دیود زیاد، نشان داده می‌شود.



ب الف

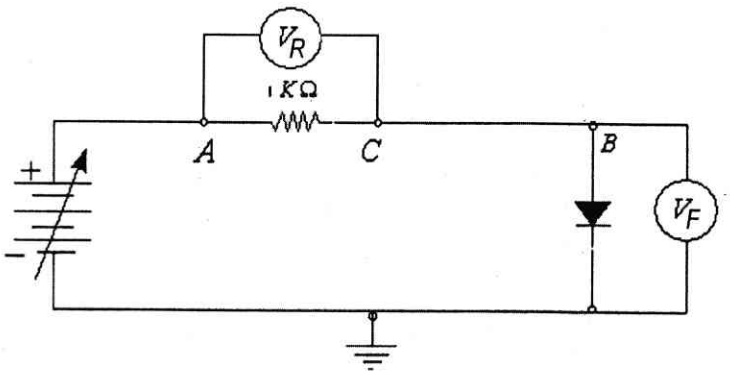
شکل۱ – ۸ بررسی سالم بودن دیود

ج) تشخیص جنس دیودها

دو سر اهم‌متر را به دوسر دیود از طرفی که اهم را نشان می‌دهد (گرایش مستقیم)، اتصال دهید. اگر حدود ۱۰، اهم را نشان دهد، از جنس ژرمانیوم و اگر حدود ۱۰۰، اهم را نشان دهد، از جنس سیلیسیم است. به عنوان مثال دیود ۱N٤۰۰۵ از جنس سیلسیم و دیود OA۹C از جنس ژرمانیوم است.

د) رسم مشخصهٔ، ولتاژ - جریان، دیود در گرایش مستقیم

با استفاده از مدار شکل ۱ - ۹، با تغییر ولتاژ منبع DC، ولتاژ دو سر دیود (V_F) را اندازه بگیرید و با تعیین ولتاژ دوسر مقاومت ۱KΩ در هر حالت جریان عبوری از دیود (I_F) را به دست آورید.



شکل ۱ - ۹. تعیین مشخصهٔ دیود سیلیسیومی در گرایش مستقیم

با تکمیل جدول زیر نمودارهای (I_F) برحسب (V_F) و نیز (I_r) برحسب (V_r) را بر روی کاغذ میلیمتری رسم کنید.

جدول ۱–۱. مقادیر ولتاژ دوسر دیود و جریان عبوری از آن برای رسم مشخصهٔ آن در گرایش مستقیم

شماره	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
V_f	۰/۲V	۰/۳V	۰/۳۵V	۰/۴V	۰/۴۵V	۰/۵V	۰/۶V	۰/۷V	۰/۸V	۱V
V_R										
I_R یا I_f										

هـ) رسم منحنی مشخصهٔ دیود در گرایش معکوس

با استفاده از مدار شکل ۱–۹، با جایگزین کردن مقاومت ۱۰۰kΩ به جای ۱kΩ و تغییر جهت دیود آزمایش (د) را تکرار کنید و نمودارهای مربوطه را بر روی کاغذ میلیمتری رسم کنید.

جدول ۱–۲. مقادیر ولتاژ دوسر دیود و جریان عبوری از آن برای رسم مشخصهٔ آن در گرایش معکوس

شماره	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
V_f	-۰/۴V	-۰/۶V	-۱/۲V	-۱/۴V	-۲V	-۳V	-۵V	-۷V	-۹V	-۱۱V
V_R										
I_R یا I_f										

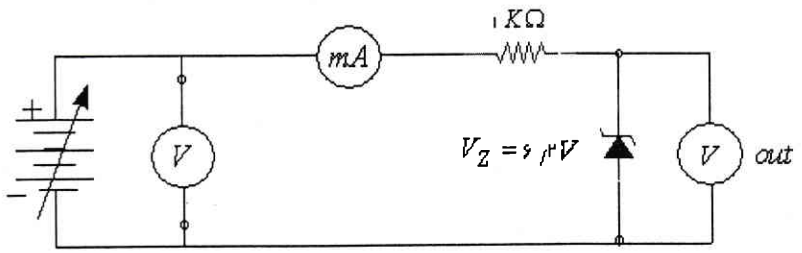
و) بررسی اثر گرما بر کار دیود در گرایش مستقیم و معکوس

در گرایش مستقیم، آزمایش (د)، وقتی جریان دیود ۰/۱mA است، هویهٔ گرم را به دیود نزدیک کنید،(هویه با دیود تماس پیدا نکند) و آنقدر نگهدارید تا جریان ۰/۱mA تغییر کند، در این حالت ولتاژ دوسر دیود را به طور تقریبی یادداشت کنید، چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

در گرایش معکوس، آزمایش(هـ) هنگامی که ولتاژ منبع در جهت معکوس ۱۵ ولت است، هویه را به دیود نزدیک کرده و نتیجه را یادداشت کنید.

ز) رسم منحنی مشخصهٔ دیود زنر

مدار شکل ۱ – ۱۰، را برای دیود زنر، که به طور معکوس تغذیه می‌شود، ببندید و با تغییر ولتاژ منبع از صفر تا ۲۰ ولت، جریان مدار و ولتاژ خروجی را در هر مرحله اندازه‌گیری کنید.



شکل ۱ – ۱۰. تعیین مشخصهٔ دیود زنر در گرایش معکوس

آنگاه جدول زیر را کامل کنید.

جدول ۱ – ۳. مقادیر V_Z و I_Z برای رسم مشخصهٔ دیود زنر

V_i (ولت)	۰	۱	۲	۳	٤	...	...	...	...	۲۰
I_Z (میلی آمپر)										
V_Z (ولت)										

با توجه به مقادیر جدول فوق، مشخصهٔ دیود زنر را در گرایش معکوس رسم کنید.

ج) در مدار شکل ۱ – ۱۰، با گرم کردن دیود زنر به وسیلهٔ هویه، تأثیر گرما را بر مقادیر V_Z و I_Z برای دو مقدار ولتاژ ورودی ۲ V و ۱۰ V بررسی کنید.

پرسش

۱. چرا در مشخصهٔ دیود در گرایش مستقیم شکل ۱ – ۹، تا زمانی که ولتاژ دو سر دیود به اندازهٔ مشخصی نرسد، دیود تقریباً هیچ جریانی از خود عبور نمی‌دهد، این ولتاژ مشخص کنندهٔ چه ولتاژی است؟

۲. آیا با تغییرجریان عبوری از دیود زنر، در ناحیهٔ شکست ولتاژ آن تغییر می‌کند؟

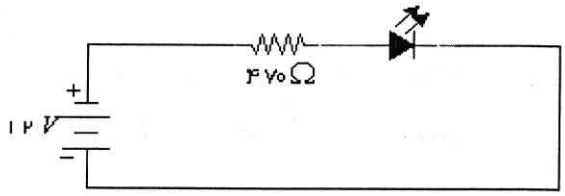
۳. با توجه به مشخصهٔ دیود زنر، مقاومت دیود زنر را به ازای ولتاژهای ۲، ٦، ۱۰ و ۲۰ ولت تعیین کنید.

٤. اثر افزایش دما بر ولتاژ شکست دیود و دیود زنر چگونه است؟

۵. چهار کاربرد دیودها را بنویسید.

تمرین مدار

۱. یک دیود (LED) را با قراردادن یک مقاومت ٤۷۰، اهمی سر راه یک پایه‌اش با ولتاژ ۱۲ ولت مستقیم روشن کنید.



۲. مدار شکل زیر را ببندید و نقاط x و y را به ترتیب به ورودیهای CH_1 و CH_2 اسیلوسکوپ متصل کنید و شکل حاصل از ترکیب دو موج را مشاهده کنید. اگر دیود را برداریم، چه تغییری در شکل روی صفحهٔ اسیلوسکوپ مشاهده می‌شود؟